



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA-UniCEUB**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS E EDUCAÇÃO DA SAÚDE-FACES**  
**GRADUAÇÃO EM BIOMEDICINA**

**RENATA AVELINO DA ROCHA**

**NEUROFISIOLOGIA DAS ALTAS HABILIDADES / SUPERDOTAÇÃO**  
**– A RELAÇÃO DO ASTRÓCITO NA FORMAÇÃO DA MEMÓRIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no formato de artigo científico ao UniCEUB como requisito parcial para a conclusão do Curso de Bacharelado em Biomedicina, sob orientação do Prof. Dr. Bruno Silva Milagres

**BRASÍLIA**

**2017**

## AGRADECIMENTOS

**A Deus**, pois sem ele e sem a crença de que existe em nós uma força superior, nada disso seria possível. Pelos momentos de angústia e pensamentos negativos, que por muitas vezes me fizeram pensar me desistir e estagnar no meio do caminho. Por acreditar que a fé pode sempre nos aproximar do bem e do amor, e que próximos a isso podemos sempre alcançar mais e mais.

**Aos meus pais**, por todo ensinamento de justiça, honestidade e lealdade. Por me ensinarem que tudo o que é conquistado com esforço e dedicação vale mais do que qualquer quantia pode pagar. Por me privarem de ter tudo na mão e me instigarem a ir em busca dos sonhos que desejo alcançar.

**À minha família**, em especial meus filhos: **Yasmin, Luca e Giovana**. Por entenderem que minha ausência foi necessária para atingir este objetivo. Por estarem ao meu lado nos momentos de alegria, mas também nos momentos de dor. Por serem capazes de se superarem a cada dia na minha ausência, e me mostrarem que podemos estar unidos mesmo que o corpo não se faça presente. E principalmente por me amarem incondicionalmente.

**Ao meu orientador, Professor Bruno Silva Milagres**, por todo apoio, ensinamento e dedicação. Obrigada por conduzir com maestria meu estudo, sempre presente com palavras de conforto e entusiasmo a cada etapa realizada e a cada novo desafio.

**Aos meus professores de curso**, em especial **Paulo Queiróz, Tânia Andrade, Fabíola Castro e Graziela Alves** com quem tive o prazer de conviver. Por me ensinarem o quanto o aprendizado se conquista com luta e persistência. Por sempre me lembrarem de que uma equipe se faz com pessoas de diferentes ideias, mas que o respeito sempre deve prevalecer.

**Aos meus queridos amigos**, por todo o amor que tiveram comigo durante os momentos de conflito. Por me fazerem rir quando queria chorar e por me fazerem chorar de alegria no aconchego de seus abraços.

## **Neurofisiologia das Altas Habilidades/Superdotação - A relação do astrócito na formação da memória**

**Renata Avelino da Rocha<sup>1</sup>**  
**Bruno Silva Milagres<sup>2</sup>**

### **Resumo**

Pessoas superdotadas ou portadores de altas habilidades são definidos pela Política Nacional de Educação Especial como aquelas que apresentam notável desempenho e elevada potencialidade cognitiva. Para compreender o funcionamento do cérebro em relação à aprendizagem, é imprescindível que tenhamos um conhecimento básico de suas áreas e de como a informação circula por ele. Os aspectos neurofisiológicos da superdotação são abordados nas conexões acentuadas entre os neurônios e no aumento do número de sinapses cujo fortalecimento depende de estímulos fortes para induzir a expressão gênica. O objetivo desse trabalho é apresentar os principais aspectos neurofisiológicos relacionados à aprendizagem e ao processo de Superdotação/Altas habilidades e de que forma os astrócitos contribuem na concepção de memória dentro do cérebro humano. Trata-se de uma revisão da literatura no formato narrativo. Utilizaram-se artigos, teses, revista, livros e periódicos disponibilizados nas bases de dados como Medline (Medical Literature Analysis and Retrieval System Online) e Pubmed central (Publisher Medline), com artigos entre os anos de 2000 a 2016. Dados mais antigos também foram citados, especificamente por serem de extrema importância no entendimento dos conceitos abordados nesse estudo. Os astrócitos, um tipo de célula da glia, parecem estar relacionados com a cognição nos processos como memória e consciência. A ideia é enfatizada por muitas evidências, como o fato da rede de astrócitos aumentar na escala evolutiva e não diminuir como é o caso dos neurônios; o fato de estar presente em muita quantidade no córtex, área cerebral ligada ao processamento cognitivo e emocional; e ainda, a capacidade dessas células de monitoramento da atividade neural.

**Palavras chave:** Astrócitos, inteligência, sistema nervoso, cérebro.

---

<sup>1</sup>Graduanda do curso de Biomedicina do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB.  
Renataavelino1508@gmail.com

<sup>2</sup>Biólogo, Professor do UniCEUB, Centro Universitário de Brasília Bruno.milagres@unceb.br

## **Neurophysiology of high skills/giftedness - The relationship of the astrocyte in memory formation.**

### **Abstract**

Gifted persons or people with high skills are defined by the National Special Education Policy as those that show remarkable performance and high cognitive potentiality. To understand the functioning of the brain in relation to learning, it is imperative that we have a basic knowledge of its areas and how information circulates through it. The neurophysiological aspects of gifting are addressed in the sharp connections between neurons and in the increase in the number of synapses whose strengthening depends on strong stimuli to induce gene expression. The purpose of this study was to present the main neurophysiological aspects related to learning and the process of giftedness / High skills and how the astrocytes contribute to the conception of memory within the human brain. It's a literature review in narrative format. Articles, theses, journals, books and journals made available in the databases such as Medline (Medical Literature Analysis and Retrieval System Online) and Pubmed central (Publisher Medline), with articles between the years 2000 to 2016 were used. Were cited, specifically because they are extremely important in understanding the concepts addressed in this study. Astrocytes, a type of glial cell, appear to be related to cognition in processes such as memory and consciousness. The idea is emphasized by many evidences, as the fact that the network of astrocytes increase in the evolutionary scale and does not diminish as it is the case of the neurons; The fact that it is present in a large amount in the cortex, a cerebral area linked to cognitive and emotional processing; And the ability of these cells to monitor neural activity.

**Keywords:** Astrocytes, intelligence, nervous system, brain.

## 1. INTRODUÇÃO

Pessoas superdotadas ou portadores de altas habilidades são definidos pela Política Nacional de Educação Especial - PNEE como aquelas que apresentam notável desempenho e elevada potencialidade em algum dos seguintes aspectos, isolados ou combinados: capacidade intelectual geral, aptidão acadêmica específica, pensamento criativo ou produtivo, capacidade de liderança, talento especial para artes e capacidade psicomotora (ANTIPOFF; CAMPOS, 2010).

Segundo Silverman (2002) o superdotado caracteriza-se a partir da análise do desenvolvimento muitas vezes desordenado entre as habilidades intelectuais, psicomotoras e afetivas, associadas à qualidade e expressão de atitudes oriundas dos conhecimentos revelados por esta pessoa, incompatíveis ao seu desenvolvimento físico/cronológico.

A teoria dos três anéis de Renzulli, estabelecida para avaliar os estudantes da educação básica em seu desenvolvimento cognitivo, propõe três fatores comuns ao indivíduo superdotado. Em primeiro, a capacidade acima da média, referente às habilidades de trabalhar com abstrações e consciência generalizada em relação ao raciocínio analítico. Em segundo lugar, a criatividade, evidenciada pelo senso de humor e capacidade de ordenar soluções rápidas para questões consideradas complexas. Como terceiro elo a motivação: persistência, responsabilidade com grandes projetos e intensa concentração (RENZULLI et al., 2010). Silva, Rolim e Mazoli (2016) propõem uma correlação dos aspectos neuro funcionais com essa teoria. Para eles o primeiro anel relata a atividade do lobo frontal, sistema límbico e outras regiões cerebrais. O segundo registra a ativação de várias áreas do cérebro e o terceiro depende do sistema límbico pra sustentação de interesse e atenção.

A inteligência não se refere a um fator isolado à personalidade do indivíduo, tendo forte correlação com a hereditariedade, temperamento e caráter, associado ao meio ambiente. Logo, o equilíbrio e saúde da inteligência relacionam-se intimamente com o pensamento progressivo, acompanhado do desenvolvimento anatomo-fisiológico, psicológico e motor do ser humano (FIORELLI; MANGINI, 2009).

A parte frontal do cérebro é o local do raciocínio. A de trás, especificamente o hipocampo, é onde as memórias são criadas. Agindo nessas áreas, Klotho, um gene que codifica uma proteína de mesmo nome, refere-se a uma proteína transmembrana que se expande como uma sequencia dentro e fora da célula humana. Isso ajuda as células cerebrais a manterem suas conexões, auxiliando na preservação da haste do cérebro, mantendo a capacidade de células de

detectar e reparar proteínas danificadas e estimulando a produção de células da glia. Klotho parece reforçar as conexões entre as células cerebrais. Suas sequências parecem alongar-se da frente do cérebro para trás. O resultado disso é a proteção do cérebro dos efeitos de substâncias nocivas aumentando assim a inteligência humana (ROSALES, 2017).

A compreensão do funcionamento do cérebro relacionada à aprendizagem é necessária para obtermos um conhecimento primário de como a informação permeia por ele. São as informações sensoriais coordenadas através de circuitos específicos e processados pelo cérebro que nos dá conhecimento do que ocorre no ambiente, direcionando nossa sobrevivência (CAPRA, 1997).

Segundo Consenza e Guerra (2011), para que haja transmissão da informação intercelular, se faz necessária uma estrutura presente normalmente nas porções finais do prolongamento neuronal, o axônio. Nele, acontece a passagem da informação, conhecida como sinapse, realizada pela liberação de uma substância química, o neurotransmissor. Assim, a grande função dos neurônios é comunicar-se entre si, recebendo e transmitindo impulsos eletroquímicos.

Na última década novas atividades da glia surgiram, não sendo mais possível ignorar seu papel no funcionamento cerebral. Hoje, esse termo designa cinco tipos de células bem distintas que juntas formam o sistema nervoso central. Os astrócitos, denominados assim por possuírem prolongamentos que lhe dão aspecto de estrela, são os mais abundantes tipos de células da glia e participam de uma grande quantidade de tarefas cerebrais, mais precisamente dos processos sinápticos. Nesse contexto, os estudos indicam que a sinapse é o penúltimo passo no que se refere ao processamento de informação. A etapa final, que gera a consciência, a formação de memórias e demais funções corticais, ocorreria dentro da rede astrocitária logo que a informação fosse transferida para os seus receptores em cada sinapse, colaborando com a informação de que essa célula tem papel crucial no aumento da capacidade cognitiva humana (CHRISTANTE, 2010).

A neurofisiologia da superdotação é abordada nas conexões ressaltadas entre os neurônios e o aumento de sinapses onde seu fortalecimento origina-se de estímulos para impulsionar a expressão gênica. Suas buscas significativas e avanços relevantes colaboram com a denominação do século XXI, conhecido como “século cerebral” (SIMONETTI, 2011).

No Brasil, segundo dados da Organização Mundial de Saúde - OMS, estima-se entre 3 a 5% da população composta por indivíduos portadores de Altas Habilidades/Superdotação (APAHSD, 2014).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar os principais aspectos neurofisiológicos relacionados à aprendizagem e ao processo de Superdotação/Altas habilidades e de que forma os astrócitos contribuem na concepção de memória dentro do cérebro humano.

## **2. METODOLOGIA**

Este estudo trata-se de uma revisão da literatura no formato narrativo. Utilizaram-se artigos, teses, revista, livros e periódicos disponibilizados nas bases de dados como Medline (Medical Literature Analysis and Retrieval System Online) e Pubmed central (Publisher Medline), com artigos entre os anos de 2000 a 2016. Como critério de inclusão foram consideradas as publicações relacionadas ao tema, disponibilizadas em fontes impressas e virtuais, preferencialmente artigos escritos em português, inglês e espanhol e usadas as palavras-chave: superdotação, altas habilidades, neurofisiologia, sistema nervoso, cérebro, astrócitos e neurônios para busca. Para fins de exclusão, os índices que permaneceram na pesquisa foram apenas aqueles em que o texto integral foi citado nas bases. As referências citadas foram as que, preferencialmente, possuíam maior nível de evidência disponível, que integravam o tema a ser tratado e que referiam as publicações mais recentes sobre cada aspecto abordado na pesquisa. Dados mais antigos também foram citados, especificamente por serem de extrema importância no entendimento dos conceitos abordados neste estudo.

## **3. DESENVOLVIMENTO**

O estudo da inteligência humana teve início no século XIX quando se tinha a ideia de que a medição do crânio revelaria alguma relação intelectual entre seu tamanho e o nível intelectual do indivíduo. Ao final do século XX houve um avanço na investigação de processos neurais caracterizando a “década do cérebro”. Somente com a criação do projeto Atlas do Cérebro no séc. XXI, é que houve um avanço considerável nos estudos relacionados a esse órgão, pois se pretendia estabelecer um mapa tridimensional do cérebro estendendo o estudo a nível molecular (SIMONETTI, 2008).

O sistema da estrutura neural pode ser dividido nos níveis da genômica, molecular, sináptico e celular os quais estão implícitos a fim de desenvolver o comportamento e as funções mentais do indivíduo. Para os indivíduos superdotados, implica em um maior número de áreas

cerebrais utilizadas para decodificar a informação inicial, gerando eficiência no processo cognitivo. Se expressa por relevância na identificação e memorização de modelo, prática e repetição, levando a excelência no aprendizado (DEHAENE; COHEN, 2007).

O crescimento e desenvolvimento do cérebro humano estão presentes desde o período uterino e seguem até a idade de sete anos ampliando suas sinapses para além dos vinte anos. Assim, áreas envolvidas com o planejamento antecipado e regulação do comportamento emocional como é o caso dos córtices de associação pré-frontais direito e inferior, continuam a se desenvolver até cerca de 20 anos, principalmente em indivíduos caracterizados como “*gifted*” - dotados (MRAZIK; DOMBROWSKI, 2010).

Cérebro e mente constitui uma dupla entidade biológica. Análogo ao que ocorre entre a regulação cardiovascular como função do sistema cardiovascular, a cognição pode ser atrelada a uma incumbência emergente do cérebro. Dessa forma, sendo subordinado às variáveis de pressão sanguínea, resistência periférica e frequência cardíaca. Logo, impulsos ambientais aceleram mecanismos biológicos do sistema nervoso, resultando em modificações estruturais e funcionais dos neurônios. A estrutura neuronal é alterada pela experiência evolutiva, modificando a taxa de potencial de neuro transmissão circulante no cérebro. Resumidamente, o meio ambiente indica padrões do sistema nervoso do indivíduo levando a alterações pré e pós-sináptica (BARTOSZECK, 2014).

Segundo Silberg (2003), conhecer o cérebro humano é imprescindível para a área de neurocognição, pois surgiram novos *insights* de como crianças e adolescentes e até mesmo os bebês aprendem. Para Begley (2008), o estudo do desenvolvimento nos primeiros anos de vida demonstra que há uma elevação da arborização neuronal e expansão dos processos sinápticos regulados geneticamente.

### **3.1 A Superdotação**

A palavra inteligência é originada do latim *intelligentia*, significa “escolher entre”, “discernir”, ou seja, é o que nos permite tomar uma decisão. No cotidiano, a palavra inteligência refere-se a um predicativo do indivíduo, e cientificamente, traduz uma qualidade do comportamento (POCINHO, 2008).

A expansão do conceito de inteligência, assim como de dotação e talento, desenvolveu um maior desejo e incentivo para solucionar os mistérios do cérebro. Os avanços adquiridos por meio do início de estudos sobre os aspectos cognitivos e comportamentais do indivíduo



colaboraram para a visão de que a construção da inteligência se dá em duas proporções – uma herdada e outra concebida pela influência do meio. Assim, acredita-se que a formação e o desenvolvimento da capacidade natural ou aptidão de cada pessoa se relaciona ao conjunto de vários fatores oriundos da genética, da cultura, do meio e da personalidade (GICK, 2008).

Segundo Simonetti (2008), as relações entre o funcionamento cerebral e o córtex no metabolismo neural, atividade elétrica neural e transmissão sináptica, tem sido alvo das principais investigações científicas relacionadas aos superdotados. Estabelecer qual parte do cérebro está envolvido em determinado tipo de inteligência tem feito parte das buscas de cientistas e estudiosos, bem como saber quais as ligações entre o cérebro e inteligência, e consequentemente como indivíduos que possuem capacidade cognitiva elevada estão envolvidos nesse contexto.

### **3.2 A Neuroplasticidade cerebral**

Segundo Relvas (2010) um neurônio é composto pela membrana celular que transporta os sinais nervosos, pelos dendritos um tipo de ponte que recebe e libera sinais, e pelo axônio cabo condutor de sinal. Aliado a ele nessa conexão estão os pontos sinápticos, responsáveis por passar as informações entre as células, e as células da glia que auxiliam na função neural. Um dos tipos de célula da glia mais comuns, os astrócitos, são responsáveis pela formação, diferenciação e funcionamento sináptico em todas as fases do desenvolvimento cerebral. Assim, sugere-se que o neurônio atue cooperativamente com outras células, e não isoladamente. A cada novo aprendizado, o cérebro se transforma, acreditando-se que a interação do homem com o meio aumenta as sinapses nervosas, provocando mudanças constantes no cérebro, definidas como neuroplasticidade ou plasticidade cerebral.

A inteligência é o resultado da exploração de várias informações realizadas e armazenadas pelo cérebro. Várias tarefas fazem diferentes áreas do cérebro aumentarem o seu metabolismo, provavelmente realizando mais sinapses. Dessa forma, o substrato biológico dessas funções representa-se pelas estruturas que compõem o córtex cerebral (MERZENICH; VAN; NAHUM, 2014). Substâncias químicas geradas pelas células da glia, conhecidas como fatores neurotróficos, agem como nutrientes para os neurônios, promovendo sua saúde e otimizando o uso de glicose cerebral bem como a capacidade de realizar sinapses. A quantidade de neurotróficos está relacionada a vários fatores que vão desde a atividade celular da glia, que quanto maior ativa a produção de neurotróficos, até fatores como o stress que contribuem para

o aumento da produção de corticosteroides, diminuindo a disponibilidade dessas substâncias (NETO et al., 2006).

A plasticidade cerebral é caracterizada pelas alterações celulares decorrentes da aprendizagem e memória. Ela se refere a uma alteração na eficiência das sinapses, podendo aumentar o sinal de transmissão de impulsos nervosos (ANDREASEN, 2005).

### **3.3 O papel das células do sistema nervoso no processo de comunicação interneuronal**

O neurônio é o alicerce de todo o processamento de informações e conduta cerebral. Apresenta-se em cerca de 80 bilhões em média de 1,4 quilos de massa orgânica, sendo que cada neurônio pode atingir cerca de 1000 contatos sinápticos. A percepção do mundo, a cognição e o desenvolvimento dependem de suas conexões (CARVALHO, 2005). É constituído por um corpo celular nucleado e organelas das quais partem seus prolongamentos - os dendritos e o axônio. Seu corpo possui variação na forma de acordo com a sua localização e atividade funcional, variando de piramidal a esférico (LENT; UZIEL; FURTADO, 2005).

De acordo com Swenson e Reece (1996), após o nascimento inúmeros processos são desencadeados no desenvolvimento das funções cerebrais. Um recém-nascido possui a média de um quarto da massa cerebral de um adulto, porém, já apresenta quase todos os neurônios que usará até o fim da vida. Isso ocorre devido ao crescimento em tamanho, expansão e organização dos neurônios e de suas conexões em grandes linhas. Os neurônios deixam de se dividir logo após o nascimento, porém seus axônios e dendritos crescem extensamente pelo período anterior à maturidade, expandindo-se e organizando-se em imensas linhas sinápticas. Sugere-se que mesmo em fase adulta, ocorra ainda, algum crescimento dessas estruturas.

Quando estimulado, um neurônio transmite a informação a outro por meio de um processo eletroquímico. A propagação dos sinais elétricos é feita como ondas pelos axônios. Transformados em sinais químicos, esses impulsos geram sinapses, que são o ponto de comunicação entre neurônios. Cada neurônio contribui com o comportamento e o bom funcionamento da atividade mental, conduzindo ou não aos impulsos. Os processos de memória podem ser explicados por meio desses impulsos, também denominados descargas (CARDOSO; MACHADO; PRATI, 2006).

Tendo como porta de entrada para as informações os órgãos dos sentidos, o cérebro as transforma em experiência por conta das atividades eletroquímicas neuronais. Os neurônios

recebem as informações oriundas dos dendritos e as encaminham a outro neurônio por intermédio do axônio; a partir daí os canais de sódio da membrana celular são abertos e os íons adentram no axônio enchendo-o de cargas positivas e invertendo a polaridade elétrica. Pareado a esse fenômeno, também se abrem os canais que permitem a saída do potássio e o interior celular se apresenta imediatamente menos carregado que o meio externo precisando voltar à situação inicial de repouso. Um mecanismo de bomba é ativado para limitar o excesso de íons sódio no interior da membrana e o impulso nervoso continua seu caminho em direção ao final do axônio, surgindo a atividade química em função da atividade elétrica pela ação dos neurotransmissores (ARANGÜERA; DORADO, 2007).

O axônio refere-se ao prolongamento eferente do neurônio. Sua função é conduzir os impulsos de um neurônio a outro, às células musculares ou glandulares. É bem mais comprido que os dendritos, tendo um diâmetro constante. Dependendo do neurônio, o axônio pode medir de 1 a 20µm de diâmetro e de 1 mm a 1,5m de comprimento. Por ser uma só prolongação longa de calibre uniforme em todo seu comprimento e se ramifica apenas na proximidade de sua terminação, tornando-se imprescindível na transmissão da informação e formação do processo de memória (GUYTON, 2006).

Os dendritos são as terminações que recebem os estímulos do meio ambiente, de células epiteliais sensoriais ou de outros neurônios. Eles se ramificam e afinam até as extremidades, exibindo pequenas expansões bulbosas - as espículas dendríticas - local de contato com outros neurônios. Em termo de processo cognitivo, exames de imagens mostram que mais dendritos criam mais probabilidades de conexões sinápticas, originando um maior e melhor processamento de informações, principalmente aquelas mais complexas (JAUSOVEC; JAUSOVEC, 2001).

Os neurotransmissores referem-se a pequenas moléculas em grande parte derivados de precursores de proteínas, e estão localizados geralmente nas vesículas pré sinápticas neuronais. São liberados na fenda sináptica e captados por meio de receptores localizados na membrana pós-sináptica, no momento em que ocorre a passagem do impulso nervoso entre uma célula e outra. Baseado em sua propriedade funcional, são caracterizados por promoverem respostas excitatórias ou inibitórias entre neurônios por meio de sinapse química (BITTENCOURT, 2010).

As informações são passadas pelos neurotransmissores de um neurônio a outro, através da sinapse; não havendo mensagens, a liberação dos transmissores diminui e o organismo por compensação tenta uma forma de reaproveitamento. Se essa produção for reduzida por algum

motivo, a informação não será recebida pelos receptores, havendo queda do processamento cognitivo (CLARK, 2007).

O contato entre dois neurônios é feito através de sinapses. Quando envolvem a passagem de íons caracterizam-se como sinapses elétricas, e quando liberam mediadores químicos são chamadas de sinapses químicas. Nas elétricas, ocorre a transmissão de íons de uma célula à outra por junções comunicantes. Nas sinapses químicas, ocorre a despolarização da membrana ao alcançar a porção terminal do axônio e o botão sináptico, fazendo com que canais de cálcio –  $\text{Ca}^{+}$  se abram e a entrada desses íons resulte na integração das vesículas sinápticas à membrana celular, consequentemente ocorrendo exocitose dos neurotransmissores em um pequeno espaço intercelular - a fenda sináptica. Os neurotransmissores se difundem e aderem a receptores associados a canais iônicos na membrana da outra célula, promovem abertura desses canais e a passagem dos íons despolarizando sua membrana. As moléculas sinalizadoras podem ainda se ligar a receptores associados a proteínas G ou receptores do tipo quinases, que ativam um segundo mensageiro (GARTNER; HIATT, 2007).

As sinapses podem sofrer alterações plásticas permitindo maior volume e força. Essas modificações são mais amplamente notadas na região do neocórtex cerebral. No entanto, existem restrições que limitam o crescimento do cérebro. Para superá-los o cérebro desenvolve modificações não apenas a nível sináptico, mas também conectando diferentes regiões corticais, criando novos circuitos que funcionem de forma coordenada com o objetivo pretendido. O crescimento de novas sinapses pode até ocorrer em processos de memória de longo prazo. Mudanças no recrutamento de moléculas podem rapidamente alterar o padrão genético e estrutural do impulso, desencadeando novas vias bioquímicas que introduzirão modificações dentro das funções neurais (HOOKS; CHEN, 2007).

Conforme ocorre o aumento do número de sinapses e do tamanho de seus contatos, ocorre também uma elevação da complexidade de comunicação dentro do sistema nervoso, gerando um crescimento no nível de habilidades verbais e visuais, inferindo em uma compreensão cognitiva mais rápida e eficaz (SIMONETTI, 2011).

### **3.4 A Neurofisiologia da Inteligência**

Grande parte dos estudos acerca dos aspectos neurofisiológicos das pessoas classificadas como talentosas e pessoas com inteligência média analisa a relação entre a atividade elétrica cerebral e a inteligência, almejando conhecer o funcionamento do cérebro com mais profundidade, assim como determinar os fatores fundamentais implícitos à

inteligência, dotação e talento (FERREIRA, 2010). Em conjunto a relação entre estrutura, funcionamento cerebral e processamento da informação, velocidade da condução neuronal, potenciais emitidos, metabolismo da glicose e sua especialização hemisférica também têm sido examinados nos estudos da atividade cerebral (ANDERSON; DAVIS, 2001).

Os resultados de estudos na área de neurociências sugerem que o alto grau de inteligência é dado em função de um processo avançado, bastante integrado e veloz dentro do cérebro. O significado de inteligência passa a agregar todas as funções cerebrais e, em singular, o seu uso eficiente e integrado. O cérebro em indivíduos sobredotados não é somente econômico no consumo da glicose, reduzindo gasto de energia, como também é mais eficiente, processando rápido e prontamente às tarefas (HAIER, 2003). Dessa forma, infere-se que indivíduos com comportamentos mais inteligentes possuirão a capacidade de gerar e produzir impulsos elétricos expressados em um potencial de ação decodificado como um impulso nervoso, gerado pela breve abertura e fechamento de canais iônicos dependentes de voltagem. A codificação das informações é feita pela frequência sináptica, de forma que se o limiar não é alcançado não gera um potencial, e o sinal não se estenderá ao longo do axônio (BARKER; BARASI; NEAL, 2003).

A função cognitiva está associada a uma região do cérebro conhecida como neocórtex, local de processamento de dados, tomada de decisões, ações e armazenamento de memória. Localizado no córtex pré-frontal e associado à função intuitiva, exerce um importante papel em certos comportamentos como insight, empatia, criatividade e introspecção. Sugere ainda, ser a área de energia e regulação de outras bases do cérebro (HAWINKS; BLAKESLEE, 2004).

Do ponto de vista neurobiológico, a cognição pode ser descrita como a prática da química cerebral, produzindo neurotransmissores mediados por mensageiros que circundam os processos bioquímicos cerebrais, ora produzindo energia por oxidação da glicose, ora agindo como consumidores no metabolismo energético dos neurônios (CLARK, 2007).

Correspondendo ao fluxo de informações e acontecendo em regiões distintas, a atividade elétrica do cérebro é resultante da comunicação eletroquímica entre os neurônios. Sugere-se que a aprendizagem se inicia no momento em que o axônio conduz a informação por meio de estimulação elétrica, transportando substâncias químicas e ativando conexões com os dendritos de outro neurônio. Iniciando com a chegada de estímulo ao cérebro, quanto mais conectividade neuronal mais processos cognitivos são gerados e a comunicação se torna mais eficiente (JENSEN, 2002).

Gerenciado em conjunto por aspectos genéticos, neurológicos e cognitivos, ocorre o desenvolvimento da inteligência. De ordem genética, a inteligência aliada à poli genes, concede a oportunidade de maior ou menor expansão das sinapses em limitadas regiões do córtex cerebral. Nutrido fisiologicamente e sendo possível a ampliação de comunicação sináptica, os estímulos cognitivos serão enviados ao córtex cerebral e conduzirão a maior ou menor complexidade de cada região, promovendo desta forma, a inteligência (TORRES, 2000).

Com a observação de que os astrócitos criam uma gama de receptores para neurotransmissores em torno de sua membrana, bem como a identificação da síntese e secreção de gliomoduladores por essas células, verificou-se prontamente resposta às atividades neuronais, e estudos recentes sugerem que os astrócitos ativam a maturação e proliferação de células-tronco do SNC e que fatores de crescimento gerados por eles podem ser relevantes na regeneração tecidual cerebral de traumas ou enfermidades sofridas bem como no aumento do processo cognitivo (SCHAFER; LEHRMAN; STEVENS, 2013).

### **3.5 O papel dos astrócitos no processo de formação de memória**

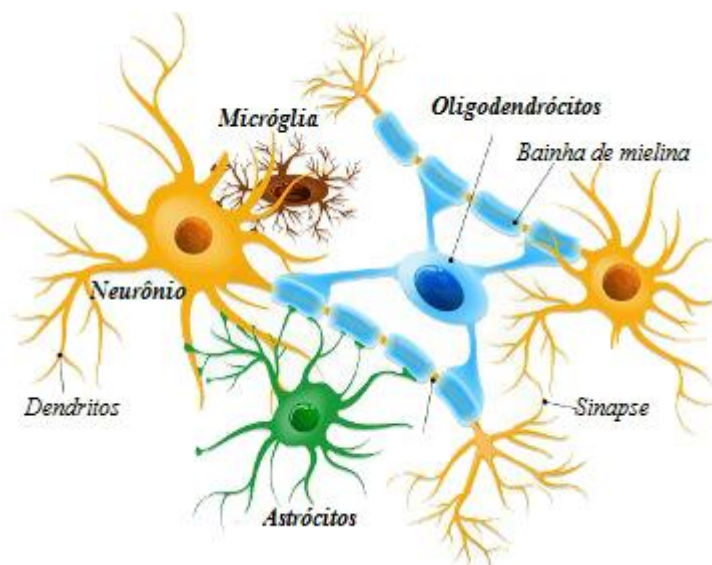
Os astrócitos integram as maiores células da glia e estão ligados ao suporte e nutrição dos neurônios. Localizam-se nos espaços interneuronais controlando a concentração de várias substâncias que podem interferir nos processos de regulação eletroquímica, como as concentrações extracelulares de potássio. Regulam neurotransmissores e restringem sua difusão por possuírem proteínas específicas em suas membranas que removem ou diminuem os neurotransmissores da fenda sináptica, conforme ilustrado na figura 1. São células plásticas, importantes para os neurônios que eles contatam. Sua forma e aparência variam ao longo do SNC em relação ao tipo neuronal com que interagem. São organizados em regiões cerebrais específicas com funções anatômicas e metabólicas e diferentes perfis de expressão gênica. Também participam no metabolismo do glutamato expressando receptores e transportadores de membrana desse neurotransmissor (LIMBERGER, 2012).

São os tipos de células da glia mais comuns no sistema nervoso central - SNC e compõe aproximadamente metade das células cerebrais. Fazem parte de um grupo de células heterogêneas, que possuem diferenças tanto em relação a morfologia, desenvolvimento, metabolismo e fisiologia. Uma rede de astrócitos seria um tipo de cópia da rede neuronal, sendo codificada em outra linguagem. Os neurônios “dialogam” através de descargas elétricas e os astrócitos se comunicam por influxo de ondas de cálcio. Assim, a sinapse provavelmente não

se refere à última etapa do processamento de informações e o estágio sináptico final, que conduziria a consciência e à formação de memórias, dependeria da propagação de ondas de cálcio dentro da rede de astrócitos (CAHOY et al., 2008).

Essas células desempenham várias funções essenciais na homeostase do SNC desde a manutenção dos níveis iônicos do meio extracelular, alterados com a descarga de potenciais de ação dos neurônios; captação e liberação de diversos neurotransmissores, até exercendo atividade crítica no metabolismo do glutamato e GABA; e composição na formação da barreira hemato encefálica. Secreta fatores fundamentais para a sobrevivência e diferenciação neuronal, auxiliando axônios e processo sináptico. Ainda estão envolvidos na regulação do fluxo sanguíneo cerebral e no acoplamento neuro vascular e auxiliam na defesa imunitária, por meio da síntese e secreção de muitas citocinas inflamatórias. Ademais, têm grande impacto no controle energético cerebral em função do fornecimento energético e de metabólitos (ROUACH et al., 2008). Evidências recentes mostram que astrócitos de determinadas regiões dentro do SNC, como hipocampo, também podem contribuir para a formação e regeneração celular no sistema nervoso adulto sendo gerador de nichos neurogênicos imprescindíveis à sobrevivência de progenitores neuronais e gliais (STIPURSKY et al., 2012).

### **Figura 1 – Astrócito e células neurológicas: A relação com as células do SNC**



Fonte: Santos (2017).

A atividade sináptica é modulada pelos astrócitos, aumentando ou diminuindo a força sináptica através de neurotransmissores fornecendo glicose e oxigênio e mantendo fluxo de sangue para suas necessidades, estabelecendo assim uma estreita relação entre eles (NEDERGAARD; VERKHRATSKY, 2012). Além disso, os astrócitos são fonte também de outros metabólitos como lactato, ácidos graxos e fatores tróficos que sustentam a saúde neuronal (PANOV et al., 2014).

Observações recentemente relatadas sugerem que os astrócitos podem ter um relacionamento ainda mais íntimo com os neurônios, estabelecendo contato com eles através das junções que permitem que ambos os tipos de células, moléculas e íons, modifiquem o seu metabolismo e expressão genética (PIRTTIMAKI, 2013). A maior parte dos eventos de transferência de informação é fruto da transmissão sináptica no SNC. A importância desses processos quando do desenvolvimento humano contribuem como substrato para atividades primordiais como aprendizado, memória, percepção e cognição (GOMES; TORTELLI; DINIZ, 2013).

Três transmissores principais são liberados pelos astrócitos sendo dois deles excitatórios: glutamato - GLT e D-serina. Este último é convertido a L-serina pela enzima serina racemase; L-serina que se refere a co-agonista essencial da glicina do receptor de NMDA, atuando como um co transmissor de glutamato, conforme demonstra a figura 2. O terceiro transmissor, a adenosina, inibe a liberação de glutamato a partir de neurônios pré-sinápticos,

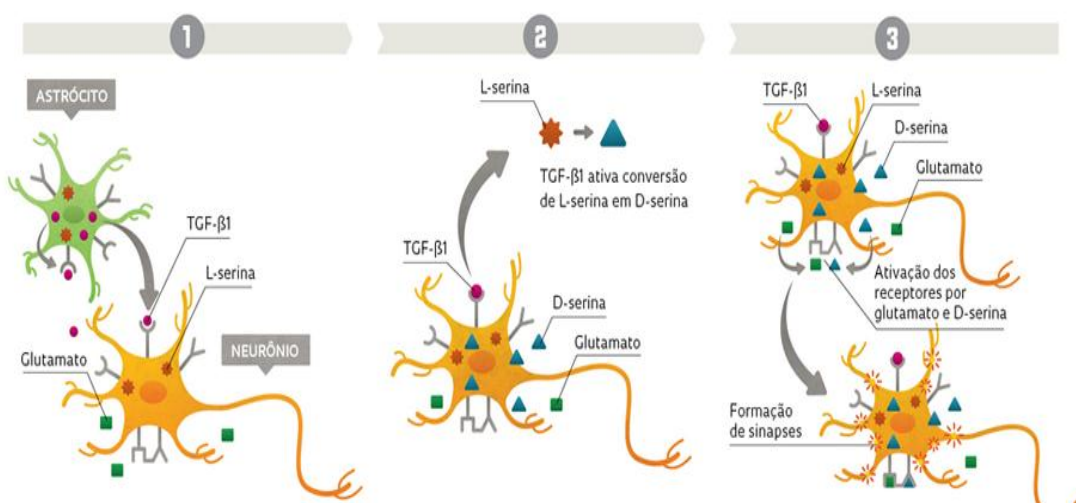


regulando a síntese excitatória e a transmissão em vários locais neuronais simultaneamente (SICA et al., 2016).

Diversos estudos sugerem que o glutamato é o neurotransmissor mais envolvido no processo de criação da memória, sendo ele o principal neurotransmissor excitatório no SNC. Dentre os fatores e achados que mais corroboram com essa afirmação estão: A elevação da concentração de receptores N-metil-D-aspartato no hipocampo – região ativa na aquisição de memória e a inibição do potencial de ação por antagonistas dos receptores NMDA – importante receptor de membrana do GLT (CURI; PROCOPIO, 2009).

A produção de glutamato pelos astrócitos é outro instrumento através do qual essas células são capazes de regular a excitabilidade dos neurônios. O glutamato é transferido para o sistema extracelular onde será transformado em glutamina através da ação da glutaminoxidase. Por sua vez, a glutamina será transportada de volta para os neurônios pré-sinápticos onde será hidrolisada pela enzima glutaminase, gerando glutamato e retornando ao estado de repouso (SICA et al., 2016).

**Figura 2 – Papel dos astrócitos na formação da sinapse**



Fonte: França (2013).

Após a descoberta de que o glutamato e outras moléculas presentes no canal sináptico ocasionam o aumento do influxo de cálcio nos astrócitos, houve um fortalecimento na hipótese da interação entre estes e os neurônios. Esse acontecimento foi denominado de sinalização de cálcio, processo descrito na figura 3. Seu aumento provoca a liberação de transmissores

químicos, e provavelmente, modifica a dinâmica do impulso sináptico no cérebro (VERKHRATSKY; PARPURA, 2011).

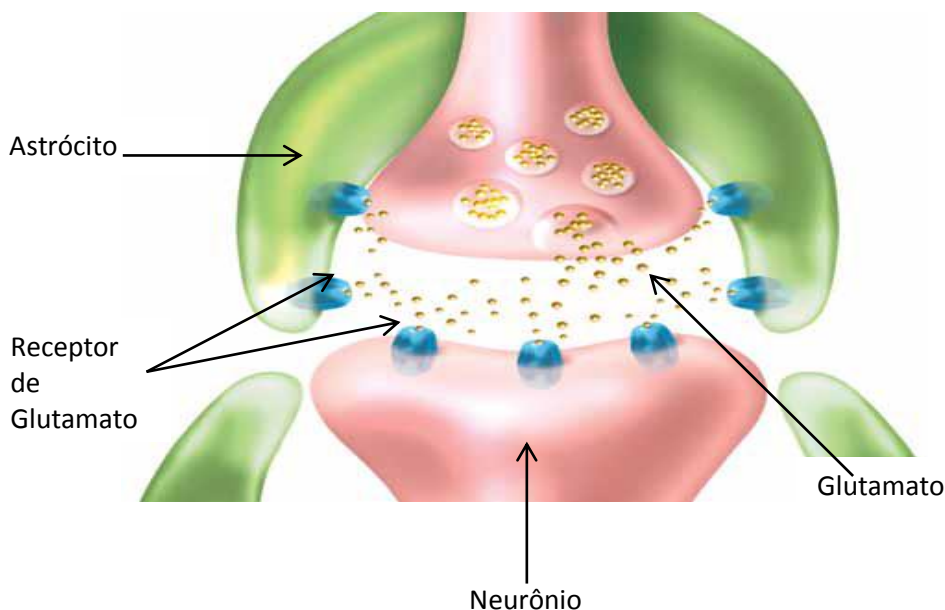
Ao analisar a estrutura das sinapses, é evidente que não só estruturas neuronais pré e pós-sinápticas devem ser encontradas, mas também ramos dos astrócitos que ali estão presentes. Toda a sinapse sugere que os astrócitos possam desempenhar papel de destaque no processamento de informação estabelecendo uma conversa fluente com neurônios. Os astrócitos não produzem potenciais de membrana propagados, mas eles podem manter potenciais de membrana em repouso além de serem capazes de alterar sua membrana excitável, mudando seu cálcio a velocidades de propagações de sinais mais rápidos. Astrócitos são capazes de ser acionados por  $\text{Ca}^{+}$ . Ondas dentro de seu citoplasma podem ser transmitidas de astrócitos para astrócitos liberando adenosina tri fosfato - ATP. A ATP aumentará o  $\text{Ca}^{+}$  intracelular, contribuindo para a expansão suas ondas dentro dos astrócitos. Este comportamento abrange uma grande população de astrócitos que irá influenciar a atividade dos neurônios conectados. Essas células contribuem para estabilizar o estado de excitabilidade do conjunto neuronal ao qual estão relacionados (ZHANG et al., 2003).

Quando os sinais sinápticos surgem, eles despertam os astrócitos a que estão relacionados. Os astrócitos recebem um sinal neuronal ao atingir as sinapses que estão sob seu controle, modulando sua atividade. Isto aumenta ou diminui a sua força determinando o tempo e a taxa de descarga dos potenciais pós-sinápticos neuronais e, conseqüentemente o significado da mensagem. Logo, acumula uma resposta coordenada dentro da rede que eles constituem sendo traduzido nas características do código que os neurônios pós-sinápticos enviarão para a próxima estação sináptica. Se assim for, deve-se admitir que os astrócitos são células que contribuem fortemente para o estabelecimento da resposta. Neste contexto, uma interessante possibilidade pode surgir: a população de astrócitos envolvida em uma rede ativada pode aperfeiçoar sua resposta empregando oscilações da sua carga  $\text{Ca}^{+}$  e produzindo ondas específicas. Essa onda atingirá os neurônios envolvendo as sinapses ativadas, modulando, de forma coordenada, a resposta sináptica (JOURDAIN et al., 2007).

A excitabilidade pode ser bastante específica, pois há compartimentos dentro do astrócito onde podem ser armazenadas quantidades de  $\text{Ca}^{+}$ , permitindo uma excitabilidade peculiar dentro da célula. Essa singularidade é importante, uma vez que a região do astrócito para esta mudança envia sua mensagem que irá contatar e influenciar as membranas de outras células com as quais o astrócito está associado, incluindo neurônios e suas sinapses. Os astrócitos são sensíveis ao estado das sinapses. Podem reforçar ou interromper a sua atividade

de acordo com as circunstâncias. Existe um controle de feedback entre as sinapses e os astrócitos, de forma que os astrócitos aumentam sua carga de  $\text{Ca}^{2+}$  e o potencial de membrana. Quando as sinapses com as quais estão relacionadas são ativadas, permite que os astrócitos sejam capazes de atuar a nível neuronal (FELLIN et al., 2004).

**Figura 3 – Sinalização do cálcio no processo de formação sináptica**



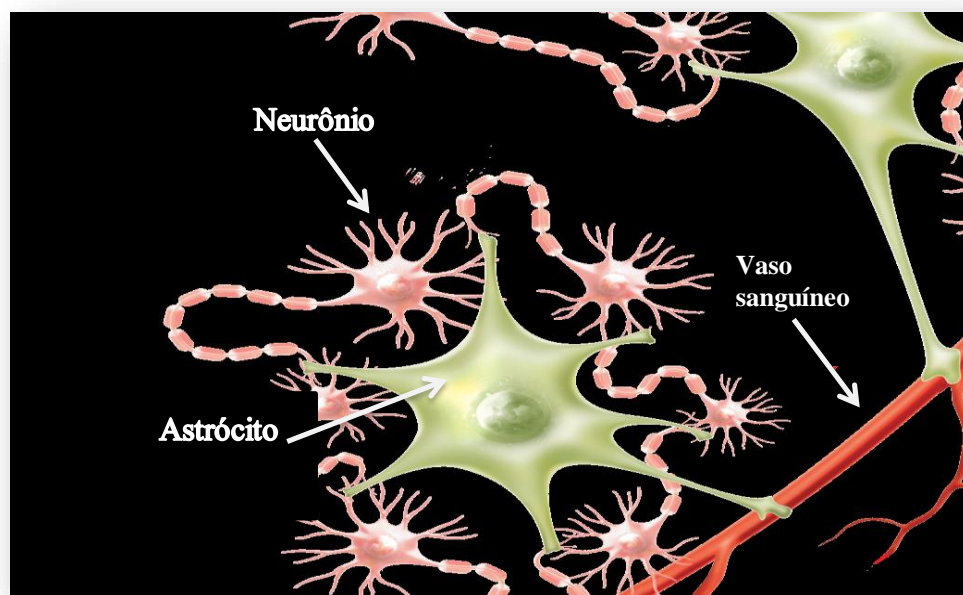
Fonte: Christante (2010).

Portanto, a relação entre os neurônios pré-sinápticos, pós-sinápticos e os astrócitos definirá a intensidade das sinapses e o tempo e frequência do potencial de ação que será transportado pelos axônios para os neurônios, transmitindo uma mensagem que será analisada uma vez. No caso de novas sinapses será empregando o mesmo mecanismo. No entanto, conhecer a capacidade dos astrócitos para regular os impulsos pode supor que o processo enviado pela membrana celular possa amortecer a concentração iônica dentro do meio, com o intuito de assegurar o sucesso do transporte da informação dentro da conexão cerebral, aumentando a percepção de memória e a atividade cognitiva associada. (MARTIN et al., 2008).

A tomada de decisões e os pensamentos abstratos são bem definidos como características dos seres humanos. Essas funções mentais envolvem a ação de milhares de neurônios dentro do córtex. O ser humano é a espécie que pode realizar um sumário complexo do pensar, propriedade essa associada à relação peculiar que os neurônios têm com os astrócitos a quem estão intimamente ligados (BELMONTE et al., 2015).

Sabemos, embora incompletamente, do papel de cada tipo de célula dentro do SNC: os neurônios recebem e carregam mensagens; os oligodendrócitos constituem a fábrica de mielina, e, finalmente, os astrócitos suportam os oligodendrócitos. Esses papéis estão ligados à forma como os neurônios realizam suas sinapses. Assim, considera-se que uma sinapse seja caracterizada por ser tripartida e para que esta ocorra precisa necessariamente desses componentes, é o que apresenta a figura 4 (PÉREZ-ALVAREZ; ARAQUE, 2013).

**Figura 4 – A sinapse tripartida – Uma “conversa” química**



Fonte: Cristante (2010).

Em suma, acredita-se que a composição das células no córtex cerebral não explica totalmente os diferentes comportamentos entre espécies. Assim, as propriedades intelectuais humanas não podem ser atribuídas somente a um número aumentado de neurônios, mas também a presença de astrócitos. Os astrócitos que residem dentro da substância cinzenta do córtex cerebral são organizados em domínios que não se sobrepõem. Isso significa que um único astrócito entra em contato com um grupo de neurônios e suas sinapses, sugerindo que, nesta região do encéfalo, o número de sinapses deve ser maior pela presença de astrócitos (CHRISTANTE, 2010).

Estudos estimaram que a porcentagem de astrócitos dentro do córtex humano é de 20% de todas as células presentes nessa estrutura. Portanto, parece que o papel dos astrócitos na

fisiologia do cérebro não pode ser baseado na frequência de sua presença, mas sim na função que desempenham com seus parceiros neuronais (PELVIG et al., 2008). Saber como os neurônios estabelecem uma conexão com os astrócitos desencadeando a sinapse, poderá explicar como os astrócitos estão envolvidos nos processos de funções cognitivas, nos processos de neuro aprendizagem e mais, qual a real relação entre neurofisiologia e superdotação (AMIRI et al., 2013).

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os estudos sobre neurofisiologia ainda são muito recentes e escassos, o que talvez nos impossibilite um olhar mais abrangente sobre o cérebro humano, órgão que comanda nossas ações desde as mais simples até a realização do processo de aprendizagem considerado como ato complexo. A pesquisa procurou demonstrar a relação fisiologia e superdotação, partindo de uma abordagem neurofisiológica, descrevendo as principais células envolvidas nesse processo além de como as sinapses contribuem para o sucesso da transmissão da informação no sistema nervoso central. Também foram abordados importantes aspectos como plasticidade neural, e sua participação no desenvolvimento do processo de inteligência do indivíduo.

Tendo sofrido uma revolução nos últimos anos, o conhecimento sobre as células da glia gerou novos paradigmas para o funcionamento do sistema nervoso, tais como a descoberta de que essas células são excitáveis e se comunicam química e eletricamente com outras e ainda que possam ser regenerativas. A combinação feita pelo organismo entre os diferentes modos de transferência de informação no circuito neuronal, em especial pelos astrócitos, é avaliada como determinante para a função do cérebro humano na produção de pensamentos, memórias e emoções, o que, em essência, definem a natureza humana e a variabilidade de inteligência de indivíduo para indivíduo.

A ideia é enfatizada por muitas evidências, como o fato da rede de astrócitos aumentar na escala evolutiva e não diminuir como é o caso dos neurônios; o fato de estar presente em muita quantidade no córtex, área cerebral ligada ao processamento cognitivo e emocional; e ainda, a capacidade dessas células de monitoramento a atividade neural.

O papel dos astrócitos – maiores células da glia encontradas dentro do compartimento cerebral, ainda não está muito bem esclarecido. Sabe-se, porém, que diferentemente do que se imaginava, eles tenham uma função importante no processo de comunicação neuronal. Se pensarmos que o foco, hoje, possa ser a real habilidade dessa célula como coadjuvante no SNC,

com estudos mais aprofundados nesse campo, talvez possamos em um futuro próximo garantir e desvendar os mistérios que circundam a habilidade de aprender e mais ainda, talvez entender que os mesmos mecanismos que garantem um percentual de inteligência acima da média possam ser aqueles que também auxiliem no desenvolvimento de terapias de reparo do sistema nervoso bem como na cura de doenças neurodegenerativas.

Importante que se faça sugerir também uma política de saúde pública aos portadores de Altas Habilidades, uma vez que essas pessoas possuem atendimento especializado na área da educação, mas muitas vezes precisam de atendimento integrado com a rede de saúde, sendo encaminhado para atendimento pelo SUS para a conclusão de diagnóstico diferenciado, porém, esse atendimento muitas vezes é demorado e outras nem chega a ser finalizado.

## 5. REFERÊNCIAS

AMIRI, M., et al. Astrocyte- neuron interaction as a mechanism responsible for generation of neural synchrony: a study based on modeling and experiments. **Journal of Computational Neuroscience**, New York, n.34, p.489–504, jun. 2013.

ANDERSON, M.; DAVIS, H. Diferencias individuales y desarrollo: Una dimensión o dos? In: ANDERSON, M (Ed.). **Desarrollo de la inteligencia**. Australia: Oxford University Press, 1ª ed., p.187-222, 2001.

ALENCAR, E. M. L. S. Características sócio-emocionais do superdotado: questões atuais. **Psicologia em Estudo**, Maringá, v.12, n.02, p.371-378, maio./ago. 2007.

ALENCAR, E. M. L. S.; FLEITH, D. S. **Criatividade: múltiplas perspectivas**. Brasília: Editora EDU – UnB (Universidade de Brasília), 3ª ed., p.220, 2003.

ALMEIDA, L. S., et al. Identificação de alunos com altas capacidades: uma contribuição de indicadores neuropsicológicos. **Revista Educação Especial**, Santa Maria, v.23, n.36, p.43-56, jan./abr. 2010.

ANDREASEN, N. C. **Admirável cérebro novo: vencendo a doença mental na era do genoma**. Porto Alegre: Artmed, 1ª ed., p.276, 2005.

ANTIPOFF, C. A.; CAMPOS, R. H. F. Superdotação e seus mitos. **Revista Semestral da Associação Brasileira de Psicologia Escolar e Educacional**, São Paulo, v.14, n.2, p.301-309, jul./dez. 2010.

APAHSD, Associação Paulista para Altas Habilidades/Superdotação). **Fatos relevantes para pessoas com altas habilidades**, São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://apahsd.org.br/fatos-relevantes-para-pessoas-com-altas-habilidades/>>. Acesso em: 06 ago. 2016.

ARANGÜENA, L. C.; DORADO, J. I. **Psicofisiologia: Fundamentos metodológicos**. Madrid: Ediciones Piramide, 1ª ed., p.296, 2007.

BARKER, R. A.; BARASI, S.; NEAL, M. I. **Compêndio de Neurociência**. Lisboa: Instituto Piaget, 1ª ed., v.56, p.236, 2003.

BARTOSZECK, A. B. Neurociências, altas habilidades e implicações no currículo. **Revista Educação Especial**, Santa Maria, v. 27, n. 50, p.641-648, set/dez. 2014.

BEGLEY, S. **Treine a mente, mude o cérebro**. Rio de Janeiro: Editora Fontanar, 1ª ed., p.302, 2008.

BELMONTE, J. C. I., et al. Brains, genes, and primates. **Neuron**, Cambridge, v.86, n.3, p.617-631, may 2015.

BITTENCOURT, S. **Neuromoduladores e neurotransmissores, noção geral**. São Paulo, 2010. Disponível em: <[http://www.neurofisiologia.unifesp.br/neuromoduladores\\_nocaogeral\\_simonebittencourt.pdf](http://www.neurofisiologia.unifesp.br/neuromoduladores_nocaogeral_simonebittencourt.pdf)>/. Acesso em: 25 jun. 2017.

CAHOY, J. D., et al. A transcriptome database for astrocytes, neurons, and oligodendrocytes: a new resource for understanding brain development and function. **The Journal of Neuroscience**, Baltimore, v.28, n.1, p.264-78, jan. 2008.

CARDOSO, F. B.; MACHADO, S. E. C.; PRATI, J. E. L. R. Estimulação Cerebral e Aprendizagem Motora: Efeitos no Aprendizado do Jogo de Boliche. **III Congresso Científico Latino- Americano da FIEP**, Foz do Iguaçu, v.76, Edição especial (Artigo I), 2006.

CAPRA, F. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. São Paulo: Cultrix, 1ª ed., p.256, 1997.

CARVALHO, H. F.; COLLARES-BUZATO, C. B. **Células: uma abordagem multidisciplinar**. Barueri: Manole, 1ª ed., p. 232-234, 2005.

CLARK, B. **Growing up Gifted: Developing the potential of children at home and at school**. New Jersey: Prentice Hall, 7ª ed., p.547, 2007.

CONSENZA, R.; GUERRA, L. B. **Neurociência e educação: como o cérebro aprende**. Porto Alegre: Artmed, 1ª ed., p.151, 2011.

CHRISTANTE, L. **Os novos astros do cérebro**. UNESPCiência, São Paulo, fev. 2010. Disponível em: <[www.unesp.br/aci/revista/ed05/pdf/UC\\_05\\_Astrocitos01.pdf](http://www.unesp.br/aci/revista/ed05/pdf/UC_05_Astrocitos01.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2017.

CURI, R.; PROCOPIO, J. **Fisiologia Básica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1ª ed., p.882, 2009.

DEHAENE, S.; COHEN, L. Cultural recycling of the cortical maps. **Neuron**, Cambridge v. 56, n.2, p.384-398, oct. 2007.

FELLIN, T., et al. Neuronal synchrony mediated by astrocytic glutamate through activation of extrasynaptic NMDA receptors. **Neuron**, Cambridge, v.43, n.5, p.729-743, sep. 2004.

FERREIRA, A. S. **A avaliação dos processos cognitivos através de testes psicológicos e indicadores neurofisiológicos**. Trabalho apresentado no IV Encontro Nacional do CONBRASD e I Congresso Internacional Sobre altas Habilidades/Superdotação, Curitiba p.51-64, set. 2010.

FIORELLI, J. O.; MANGINI, R. C. R. As Funções Mentais Superiores. In: FIORELLI, J. O. **Psicologia Jurídica**. São Paulo: Imprensa, 1ª ed., p.6-43, 2009.

FRANÇA, M. S. J. **Os astros do momento**. Pesquisa FAPESP, São Paulo, fev. 2013. Disponível em: <[http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/02/044-045\\_sinapse\\_204.pdf](http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/02/044-045_sinapse_204.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2017.

GAMA, M. C. S. S. **Educação para superdotados: teoria e prática**. São Paulo: EPU, p.176, 2006.

GARTNER, L. P.; HIATT, J. L. **Tratado de Histologia em Cores**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 3ª ed., p.592, 2007.



GICK, A. R. **Altas Habilidades/Superdotação: Um Estudo De Caso**. Graduação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 109f., Uruguaiana, 2008.

GOMES, F. C. A; TORTELLI, V. P.; DINIZ, L. Glia: dos velhos conceitos às novas funções de hoje e as que ainda virão. **Estudos avançados**, São Paulo, v.27, n.77, p.61-84, 2013.

GUENTHER, Z. C. **Capacidade e talento: um programa para a escola**. São Paulo: EPU, p.116, 2006.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. Rio de Janeiro: Elsevier, 11ª edição, p.1152, 2006.

HAIER, R. J. Positron Tomography studies of intelligence: From Psychometrics to Neurobiology. In: NYBORG, H. **The Scientific Study of General Intelligence: Tribute to Arthur R. Jensen**. Bingley: Emerald Group Publishing Limited, 1ª ed., p. 41-51, 2003.

HAWKINS, J.; BLAKESLEE, H. **On Intelligence**. New York: St. Martin's Press, 1ª ed., p.272, 2004.

HOOKS, B.M.; CHEN, C. Critical periods in the visual system: changing views for a model of experience-dependent plasticity. **Neuron**, Cambridge, v.56, n.2, p.312-26, oct. 2007.

JAUSOVEC, N.; JASUSOVEC, K. Differences in EEG current density related to intelligence. **Brain research, Cognitive Brain Research**, Amsterdam, v.12, n. 1, p. 55-6, aug. 2001.

JENSEN, E. **O cérebro, a bioquímica e as aprendizagens**. Porto: Asa de Portugal, 1ª ed., p.192, 2002.

JOURDAIN, P., et al. Glutamate exocytosis from astrocytes controls synaptic strength. **Nature Neuroscience**, v.10, n.3, p.331-339, mar. 2007.

LENT, R.; UZIEL, D.; FURTADO, D. A. Neurônios. In: CARVALHO, H. F.; COLLARES-BUZATO, C. B. **Células: uma abordagem multidisciplinar**. Barueri: Manole, 1ª ed., p. 232-234, 2005.

LIMBERGER, J. B. **Psicofarmacologia: unidade 1 - Neuroanatomia e neurofisiologia básica**. Santa Maria, 2012. Disponível em: <

[http://www.unifra.br/professores/arquivos/16690/89564/aula%201%20\[Modo%20de%20Compatibilidade\].pdf](http://www.unifra.br/professores/arquivos/16690/89564/aula%201%20[Modo%20de%20Compatibilidade].pdf)>. Acesso em: 22 jun. 2017.

LUFT, C.; ANDRADE, A. A pesquisa com EEG aplicada à área de aprendizagem motora. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, Lisboa, v.6, n.1, p.106-115, jan. 2006.

MARTIN, P. M., et al. Axones et cellules de Schwann... si loin, si proches. **Revue Neurologique**, Paris, v.164, n.12, p. 1057-1062, dec. 2008.

MERZENICH, M. M.; VAN, T. M. V.; NAHUM, M. Brain plasticity-based therapeutics. **Frontiers in Human Neuroscience**, Lausanne, v.8, n.385, p.1-16, june 2014.

MRAZIK, M.; DOMBROWSKI, S. C. The Neurobiological Foundations of Giftedness. **Roeper Review**, Bloomfield Hills, v. 32, n.4, p.224–234, may 2010.

NEDERGAARD, M.; VERKHRATSKY, A. Artifact versus reality: how astrocytes contribute to synaptic events. **Glia**, New York, v.660, n.7, p.1013-23, july 2012.

NETO, M. H. M., et al. **Anatomia Humana - Aprendizagem dinâmica**. Maringá: Gráfica Clichetec, 1ª ed., p.220, 2006.

PANOV, A., et al. Fatty acids in energy metabolism of the central nervous system. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, New York, v. 2014, n.1, may 2014.

PELVIG, D. P., et al. Neocortical glial cell numbers in human brains. **Neurobiology Aging**, New York, v.29, n.11, nov. 2008.

PÉREZ-ALVAREZ, A.; ARAQUE, A. Astrocyte-neuron interaction at tripartite synapses. **Current drug targets**, Hilversum, v.14, n.11, p.1220-1224, oct. 2013.

PIRTTIMAKI, T. M.; PARRI, H. R. Astrocyte plasticity: implications for synaptic and neuronal activity. **The Neuroscientist: a review journal bringing neurobiology, neurology and psychiatry**, Baltimore, v.19, n.6, p. 604-15, dec. 2013.

POCINHO, M. Definição, características e educação de alunos sobredotados. **Diversidades**, Macaé, v. 19, n.5, p. 9-13, nov. 2008.

RELVAS, M. P. **Neurociência e educação: potencialidades dos gêneros humanos na sala de aula**. Barueri: Editora Wak, 2ª ed., p.160, 2010.

RENZULLI, J. S. O que é esta coisa chamada superdotação e como a desenvolvemos? Uma retrospectiva de vinte e cinco anos. **Revista Educação**, Porto Alegre, v.27, n.1, p.75-131, jan./abr. 2004.

RIMM, S. B. Underachievement: a national epidemic. In: COLANGELO, N.; DAVIS, G. A (Org.). **Handbook of gifted education**. Needham Heights: Allyn Bacon, 3ª ed., p. 424-443. 2003.

ROSALES, P. **Klotho, el poder de la hormona cerebral que usted nunca há oído**. El Blog de la Salud, may 2017. Disponível em: <<https://www.elblogdelasalud.info/klotho-el-poder-de-la-hormona-cerebral-que-usted-nunca-ha-oido/15798>>. Acesso em: 04 mar. 2017.

ROUACH, N., et al. Astroglial metabolic networks sustain hippocampal synaptic transmission. **Science**, New York, v.322, n.5907, p.151-155, dec. 2008.

SABATELLA, M. L. P. **Talento e superdotação: problema ou solução?** Curitiba: Ibpx, 1ª ed., p.241, 2005.

SAKAGUTI, P. M. Y. BOLSANELLO, M. A. Filhos com Altas Habilidade/Superdotação: sentimentos, dificuldades e expectativas dos pais. **Revista Brasileira de Altas Habilidades/Superdotação**, v.1, n.1, p.78-86, jan./jun. 2013.

SANTOS, V. S. **Células da glia**. Goiânia, 2017. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/biologia/celulas-glia.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

SCHAFER, D. P.; LEHERMAN, E. K.; STEVENS, B. The “quad-partite” synapse: Microglia-synapse interactions in the developing and mature CNS. **Glia**, New York, v.61, n.1, p.24-36, jan. 2013.

SICA, R. E., et al. Are astrocytes executive cells withing central nervous system? **Arquivos de Neuro-psiquiatria**, São Paulo, v.74, n.8, p. 671-678, aug. 2016.

SILBERG, J. **125 brincadeiras para estimular o cérebro do seu bebê**. São Paulo: Editora Ground, 1ª ed., p.152, 2003.

SILVA, W. G.; ROLIM, R. G. B.; MAZOLI, W. H. Reflexões sobre o processo neuropsicológico de pessoas com altas habilidades/superdotação. **Revista Interinstitucional de Psicologia**, Pampulha, v.9, n.2, p.195-210, jul./dez. 2016.

SILVERMAN, L. K. Asynchronous development. In: NEIHART, M.; PFEIFFER, S.; CROSS, T. **The social and emotional development of gifted children: What do we know?** Waco: Prufrock Press, 2<sup>a</sup> ed., p.31-40, 2002.

SIMONETTI, D. C. Superdotação: Estudo comparativo da avaliação dos processos cognitivos através de testes psicológicos e indicadores neurofisiológicos. Doutorado (Tese) – Universidade do Minho, Braga, 196f., dez. 2008. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/9218/1/tese%20final.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

SIMONETTI, D. C. Alunos com alta capacidade intelectual: Indicadores neuropsicológicos. **Revista FACEVV**, v.1, n.6, p. 31-40, jan./jun. 2011.

STIPURSKY, J., et al. Neuron-astroglial interactions in cell fate commitment in the central nervous system. **Neurochemical Research**, v.37, n.11, p.2402-2418, may 2012.

SWENSON, M. J.; REECE, W. O. **Fisiologia dos Animais Domésticos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 11<sup>a</sup> ed., p.856, 1996.

TORRES, V. S. Desenvolvimento da inteligência: aspectos envolvidos. **Revista de Ciências Humanas**, Florianópolis, v.1, n.28, p.11-34, out. 2000.

VERKHRATSKY, A.; PARPURA, V. Astrogliopathology in neurological, neurodevelopmental and psychiatric disorders. **Neurobiology of Disease**, Oxford, v.1, n.85, p.254-61, jan. 2015.

ZHANG, J. M., et al. ATP released by astrocytes mediates glutamatergic activity-dependent heterosynaptic suppression. **Neuron**, Cambridge, v.40, n.5, p.971-982, dec. 2003.